

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Marko Čakširan

Zagreb, 2012.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:

Doc.dr.sc. B. Ljubenkov

Marko Čakširan

Zagreb, 2012.

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| <i>Sažetak.....</i> | <i>1</i> |
| <i>1. Uvod.....</i> | <i>2</i> |
| <i>2. Proračun centracije i pokus nagiba.....</i> | <i>4</i> |
| <i>3. Funkcija krutog balasta kod ribarskih brodova.....</i> | <i>7</i> |
| <i>4. Moguća rješenja ugradnje krutog balasta.....</i> | <i>12</i> |
| <i>5. Tehnologija montaže krutog balasta.....</i> | <i>14</i> |
| <i>6. Zaključak.....</i> | <i>23</i> |
| <i>7. Literatura.....</i> | <i>24</i> |

POPIS SLIKA:

Slika 1. Stabilna ravnoteža

Slika 2. Pokus nagiba

Slika 3. Balastna kobilica

Slika 4. Raspored tankova u dvodnu

Slika 5. Poprečni presjek balastne kobilice

Slika 6. Prikaz ispunjenih i praznih prostora u kobilici

Slika 7. Poprečni presjek izmjenjene izvedbe balastne kobilice

Slika 8. Raspored slaganja cigli unutar jednog segmenta kobilice

Slika 9. Ugradnja bloka olova u jedan segment kobilice

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Osnovne karakteristike broda

Tablica 2. Proračun centracije bez krutog balasta

Tablica 3. Proračun centracije broda sa balastnom kobilicom

Tablica 4. Količine olova u kobilici varijante A

Tablica 5. Količine olova u kobilici varijante B

POPIS OZNAKA:

x_G, z_G – koordinate težišta sistema

M_{zi} – moment bilo koje od n-masa s obzirom na vertikalnu ravninu kroz os z.

M_{xi} – moment bilo koje od n-masa s obzirom na vertikalnu ravninu kroz os x.

M_t – moment nakretanja

$\overline{M_oG}$ - početna metacentarska visina

D - pomak tereta

Δ - istisnina

Izjavlujem da sam završni rad napravio samostalno.

SAŽETAK

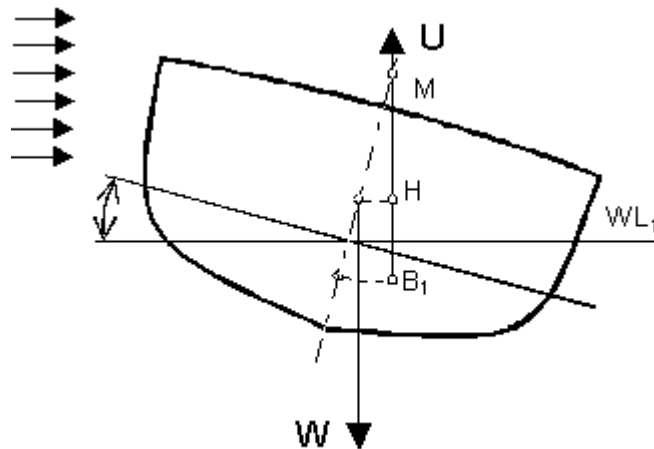
Ribarski brod je vrsta broda kod kojeg posada većinu svog vremena provodi na vanjskim otvorenim palubama gdje je izložena udarima vjetra i valovima. Uz jako ljuljanje i slabu stabilnost broda posada otežano ispunjava svoje zadatke. Pošto je brod namijenjen ribolovu na Sjevernom i Južnom Atlantiku potrebno je riješiti pitanje stabiliteta ribarskog broda.

Cilj zadatka je riješiti problem stabiliteta ribarskog broda ugradnjom krutog balasta. Kroz zadatak je objašnjeno kako, gdje i na koji način ugraditi kruti balast. Koji su se sve problemi javili i kako su riješeni. Koje su prednosti i nedostaci pojedinog načina ugradnje te je provedena tehnološka razrada za odabrani način ugradnje. Kroz rad su opisani proračun centracije i pokus nagiba koji su neophodni za izvršenje ovog zadatka.

1. UVOD

Problem zadatka je montaža krutog balasta koji je posljedica visokog težišta sistema. Visoki položaj težišta sistema nepovoljno utječe na stabilitet broda. Stabilitet broda je svojstvo broda da se odupire pomicanju iz ravnotežnog položaja uslijed djelovanja vanjskih sila ili uslijed pomicanja masa na brodu, kao i sposobnost da se vrati u svoj ravnotežni položaj nakon prestanka djelovanja vanjskih momenata koji su ga pomakli iz ravnotežnog položaja. Brod koji nema takvo svojstvo ne može uopće ploviti, a brod koji ga nema u dovoljnoj mjeri nije siguran u plovidbi.^[1] Plovnost broda je svojstvo tijela da mirno pluta na tekućini. Na plovnost tijela utječu karakteristike tijela kao i tekućine u kojoj tijelo pluta. Postoje 3 uvjeta plovnosti:

- Masa broda jednaka je masi istisnute vode.
- Spojnica težišta sustava broda i težišta istisnine je okomita na ravninu vodne linije.
- Početni metacentar mora ležati iznad težišta sustava broda.^[2]



Slika 1. Stabilna ravnoteža

Ravnoteža je stabilna ako se tijelo nakon prestanka djelovanja vanjskih sila, vrati u svoj ravnotežni položaj tj. ako se početni metacentar M nalazi iznad težišta sistema broda prikazano *Slikom 1*. Ukoliko se položaj početnog metacentra poklapa sa položajem težišta sistema broda tada je ravnoteža indiferentna te nakon prestanka djelovanja vanjskih sila brod će ostati u istom položaju.

Ravnoteža je labilna ako se početni metacentar nalazi ispod težišta sistema i nakon prestanka djelovanja vanjskih sila brod će se prevrnuti. Kako bi se smanjila visina težišta sistema kod manjih brodova se obično u niže djelove trupa ugrađuje balast. Osim ugradnje balasta moguća su i druga rješenja kao gradnja nadgrađa od lakših materijala poput aluminijevih legura.

Potrebnu masu i položaj balasta određuje se proračunom centracije. Centracija je postupak podešavanja položaja težišta uzgona i težišta sistema broda po duljini i visini.

2. PRORAČUN CENTRACIJE I POKUS NAGIBA

Centracija

Kod projektiranja broda određuje se položaj težišta sistema pomoću računa centracije. Svrha proračuna centracije je uskladiti raspored masa na brodu tako da težište sistema padne u vertikalnu na plovnu liniju kroz težište istisnine. To je u stvari proračun momenata pojedinih masa, odnosno grupa masa za dvije međusobno okomite osi, pomoću kojeg se može proračunati udaljenosti težišta sistema od tih dviju osi. Mase na brodu se dijele u ukupno šest grupa. U ovom proračunu uzete su u obzir četiri grupe masa:

- masa čeličnog trupa
- masa opreme, inventara i pomoćnih brodskih strojeva
- masa pogonskog uređaja
- masa goriva, maziva i svježe vode

Budući da je forma broda simetrična s obzirom na uzdužnu ravninu, težište istisnine za brod u uspravnom položaju nalazi se u toj simetralnoj ravnini, pa se u njoj mora nalaziti i težište sistema što ispunjava drugi uvjet plovnosti. Zbog toga su za određivanje položaja težišta sistema u prostoru dovoljne dvije koordinate, dakle i dvije momentne osi.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n Mz_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n Mx_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Težište sistema može se premještanjem pojedinih masa odnosno grupa masa po volji pomicati. Ako se u jednom sistemu masa bilo koja masa pomakne za odgovarajući iznos, onda se zajedničko težište sistema pomiče paralelno s pomakom pomaknute mase.

Pokus nagiba

Kad je brod izgrađen provjerava se položaj njegovog težišta pomoću pokusa nagiba. Kod toga se može odrediti samo položaj težišta sistema po visini, dakle ordinata z_G .

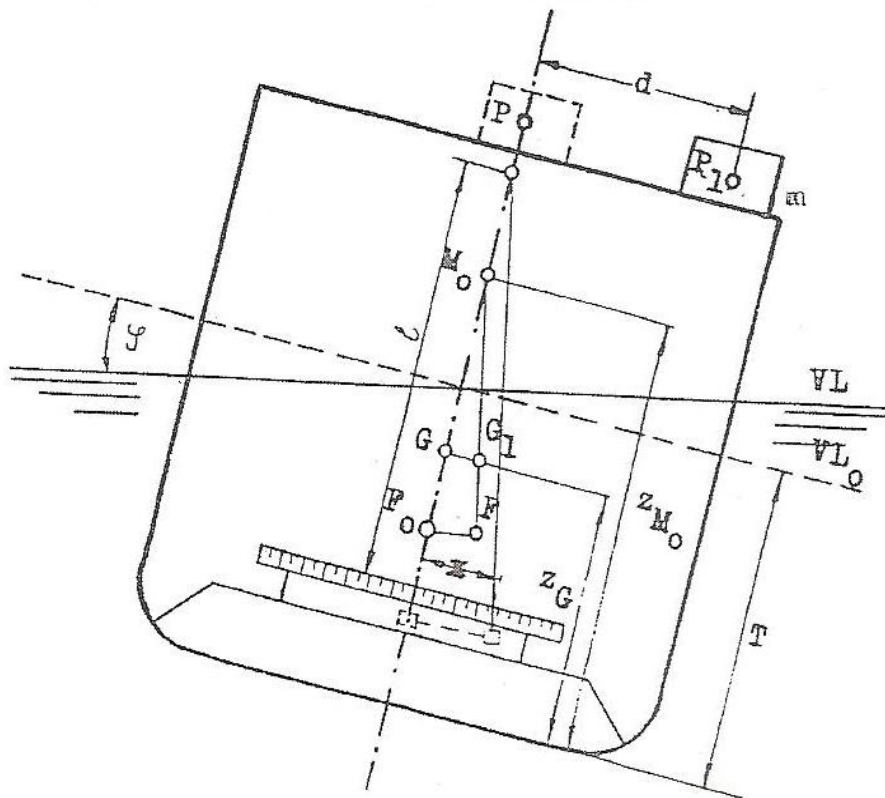
Pokus nagiba sastoji se u:

1. Očitanju gazova, popisu masa koje se nalaze na brodu kao i mjesta gdje se nalaze, kako bi se točno odredila istisnina broda i kako bi se znalo koje mase sačinjavaju tu istisninu. To je potrebno znati da se kasnije može proračunati pomak težišta sistema ako se neke mase iskrcaju, a neke druge opet ukrcaju na brod.
2. Nakretanju broda pomoću bočnog premještanja masa poznate veličine m za poznati pomak d . Time je određen moment nakretanja $M_t = \sum M * d$
3. Očitanju bočnog kuta nagiba koji je prouzrokovan tim momentom. Zato služi obično olovni visak i drvena letva s označenom skalom, ali se mogu primijeniti i precizniji instrumenti. Kod toga treba naročito paziti da se zaista očita kut nagiba prouzrokovan pomakom masa na brodu, a ne nekim drugim nepoznatim momentima. Zbog toga treba kod pokusa nagiba isključiti djelovanje vjetrova, valova, raznih struja, šetanja ljudi po brodu, a po mogućnosti i djelovanje slobodnih površina tekućina u tankovima. Osim toga kut nagiba broda treba biti malen, da se može upotrijebiti formula s početnom metacentarskom visinom, koja ne vrijedi kod većih nagiba.

Pomak težišta sistema možemo proračunati prema poučku o pomaku težišta:

$$\overline{GG_1} : d = m : \Delta \qquad \overline{GG_1} = \frac{m * d}{\Delta} ,$$

$$\text{pa je:} \qquad \text{tg} \rho = \frac{m * d}{\Delta * MoG}$$



Slika 2. Pokus nagiba

Budući da poznajemo vrijednosti:

pomaknute mase m , pomaka tereta d , istisninu broda Δ , a izmjerili smo $\text{tg}\rho = \frac{x}{l}$,

gdje je x -očitanje na mjernoj letvi, a l -duljina viska, možemo proračunati početnu metacentarsku visinu po formuli:

$$\overline{M_oG} = \frac{m*d}{\Delta * \text{tg}\rho} = \frac{m*d}{\Delta} * \frac{l}{x}$$

Budući da se položaj metacentra po visini može jednostavno odrediti pomoću gore navedenih dobije se položaj težišta sistema po visini pomoću formule:

$$z_G = z_{M_o} - \overline{M_oG}^{[3]}$$

3.FUNKCIJA KRUTOG BALASTA KOD RIBARSKIH BRODOVA

Balast je masa koja se dodaje brodu da stvori određeno opterećenje i ravnotežu broda. Postoje dvije vrste balasta: tekući kao povremeni i privremeni koji se pumpama krca u balastne tankove broda te kruti balast koji se smješta u što je moguće niže dijelove broda broda radi smanjenja ali i povećanja visine težišta sistema. Balast kod brodova za rasuti teret služi za povećanje visine težišta sistema zbog perioda ljuljanja. Kod ribarskih brodova se izbjegavaju drugi načini stabilizacije, primjerice aktivni stabilizatori zbog toga što ribarski brod mora imati podvodnu formu kod koje neće doći do oštećenja opreme kao što su mreže.

Tablica 1.Osnovne karakteristike broda

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Duljina preko svega | 63,85 m |
| Duljina između okomica | 57,55 m |
| Širina | 13,50 m |
| Visina do glavne palube | 5,80 m |
| Visina do palube kočarenja | 8,40 m |
| Visina do donje palube kaštela | 10,70 m |
| Gaz | 6,30 m |
| Nosivost | 2000 GRT |
| Propulzija | 4500 kW |
| Brzina u plovidbi/pri kočarenju | 14,5/5 čv |
| Posada | 44 |

Kod ovog ribarskog broda čije su karakteristike navedene u *Tablici 1.* prema zahtjevima Brodovlasnika potrebno je smanjiti visinu težišta sistema na 1,5 m zbog stabiliteta. Da bi se pristupilo ovome problemu potrebno je provesti proračun centracije kako bi se odredila potrebna težina i položaj balastnog tereta. Težište sistema se smanjuje ukrcavanjem dodatne mase tj. balasta u niže dijelove broda. Kod većih brodova kobilica je napravljena ili popunjena materijalima kao što su cement, željezo, olovo ili čelik. Centracija bez krutog balasta pokazuje da je visina težišta sistema 2,56 m što je previsoko i ima negativan utjecaj na stabilitet broda. Kako bi se visina težišta sistema smanjila na zahtjevanih 1,5 m prema zahtjevu Brodovlasnika, potrebno je proračunati koliko balasta je potrebno da se smanji visina težišta sistema na zahtjevanu visinu.

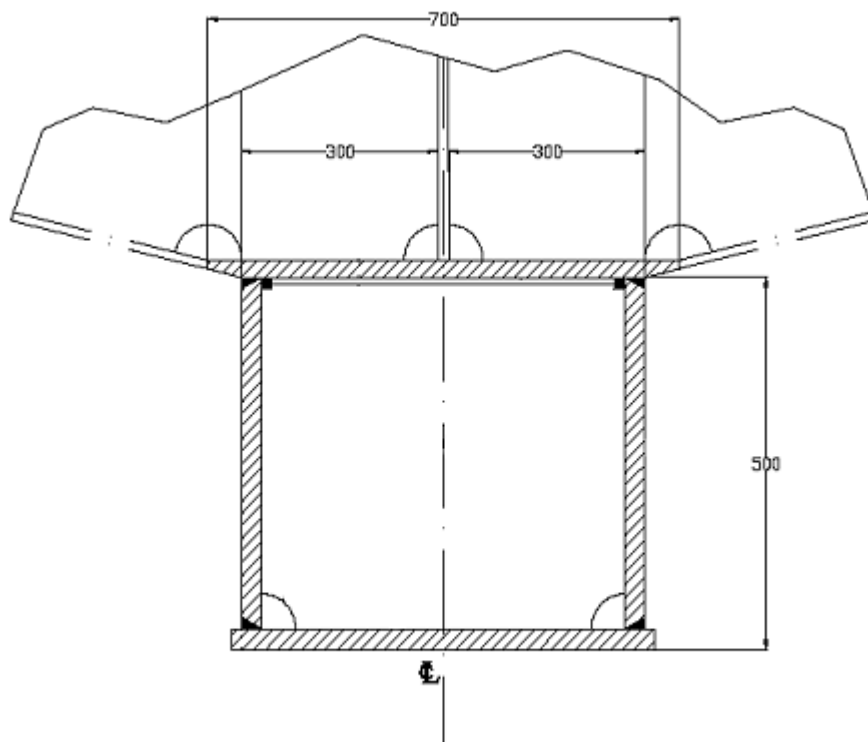
Tablica 2.Proračun centracije bez krutog balasta

| Brodski trup s opremom | Masa (t) | Xs (m) | Zs (m) | MX | MZ |
|---|---------------------|-------------------|-------------------|--------------|----------------|
| Glavna paluba | 0 | 28 | 7,2 | 0 | 0 |
| Kruti balast | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ice-fin | 0 | 0 | 3,5 | 0 | 0 |
| Kormilo/privjesci | 11,2 | 0 | 3 | 0 | 33,6 |
| Oplata trupa od kobilice do vrha tanka 1,3 metar | 0 | 29 | 0,4 | 0 | 0 |
| Produženje oplata t. od kobilice do vrha tanka | 7,2 | 29 | 0,4 | 205,3 | 2,7 |
| Oplata trupa od vrha tanka(1,3) do glavne palube (5,725) | 8 | 28 | 3,6 | 237,3 | 30 |
| Produženje oplata t. od vrha tanka do glavne palube | 14,4 | 28 | 3,6 | 403,3 | 51,3 |
| Oplata trupa od gl. palube (5,725) do pal. kočarenja(8,8) | 0 | 29 | 6,8 | 0 | 0 |
| Produženje oplata t. od glavne pal. do palube kočarenja | 8,3 | 29 | 7,2 | 236 | 59 |
| Oplata t. od pal.kočarenja 8,8 do donje pal.kaštela 11,6 | 0 | 29 | 9,8 | 0 | 0 |
| Produženje oplata t. od pal.kočarenja do donje pal.kaštela | 12 | 29 | 9,8 | 343,2 | 117 |
| Oplata trupa od donje p. k. 10.725 do gornje p.kaš. 13.125 | 0 | 39 | 11,9 | 0 | 0 |
| Produženje oplata trupa od donje p. kaštela do gornje p. k. | 3,1 | 31 | 12,4 | 95,5 | 38,4 |
| Oplata kobilice | 8 | 24 | 0 | 193,1 | 0 |
| Poprečne grede | 2 | -2 | 7 | -4,4 | 14 |
| Ljuljna kobilica | 9,1 | 12 | 0,8 | 105,1 | 6,8 |
| Tank goriva 1 | 43 | 3,5 | 2 | 150,5 | 86 |
| Tank goriva 2 | 34,4 | 28,9 | 2 | 994,2 | 68,8 |
| Tank goriva 3 | 51,6 | 31,9 | 2 | 1646 | 103,2 |
| Tank goriva 4 | 51,6 | 44,9 | 2 | 2317 | 103,2 |
| Tank goriva 5 | 17,2 | 51,8 | 2 | 891 | 34,4 |
| Tank goriva 6 | 4,3 | 59,1 | 2 | 254,1 | 8,6 |
| Tank goriva 7 | 4,3 | 3,5 | 2 | 15,05 | 8,6 |
| Tank goriva 8 | 34,4 | 28,9 | 2 | 994,2 | 68,8 |
| Tank goriva 9 | 51,6 | 31,9 | 2 | 1646 | 103,2 |
| Tank goriva 10 | 51,6 | 44,9 | 2 | 2317 | 103,2 |
| Tank goriva 11 | 17,2 | 51,8 | 2 | 891 | 34,4 |
| Tank goriva 12 | 4,3 | 59,1 | 2 | 254,1 | 8,6 |
| Tank goriva 13 | 25,8 | 28,9 | 2 | 745,6 | 51,6 |
| Tank svježe vode 1 | 20 | 18,5 | 2 | 370 | 40 |
| Tank svježe vode 2 | 20 | 18,5 | 2 | 370 | 40 |
| Balastni pramčani tank | 3,675 | 61,5 | 2 | 226 | 7,35 |
| Pogonski stroj | 40 | 16,25 | 4 | 650 | 160 |
| Bubanj za namatanje mreže | 3 | 31,92 | 9 | 95,76 | 27 |
| Vitlo za mrežu 1 | 2 | 24 | 9 | 48 | 18 |
| Vitlo za mrežu 2 | 2 | 24 | 9 | 48 | 18 |
| Brodski trup s opremom | 565,275 | 29,61 | 2,56 | 16738 | 1445,75 |

Tablica 3. Proračun centracije broda sa balastnom kobilicom

| Brodski trup s opremom | Masa (t) | Xs (m) | Zs (m) | MX | MZ |
|---|---------------------|-------------------|-------------------|--------------|----------------|
| Glavna paluba | 0 | 28 | 7,2 | 0 | 0 |
| Kruti balast | 122,8 | 24 | -0,3 | 2938 | -36,72 |
| ice-fin | 0 | 0 | 3,5 | 0 | 0 |
| Kormilo/privjesci | 11,2 | 0 | 3 | 0 | 33,6 |
| Oplata trupa od kobilice do vrha tanka 1,3 metar | 0 | 29 | 0,4 | 0 | 0 |
| Produženje oplata t. od kobilice do vrha tanka | 7,2 | 29 | 0,4 | 205,3 | 2,7 |
| Oplata trupa od vrha tanka(1,3) do glavne palube (5,725) | 8 | 28 | 3,6 | 237,3 | 30 |
| Produženje oplata t. od vrha tanka do glavne palube | 14,4 | 28 | 3,6 | 403,3 | 51,3 |
| Oplata trupa od gl. palube (5,725) do pal. kočarenja(8,8) | 0 | 29 | 6,8 | 0 | 0 |
| Produženje oplata t. od glavne pal. do palube kočarenja | 8,3 | 29 | 7,2 | 236 | 59 |
| Oplata t. od pal.kočarenja 8,8 do donje pal.kaštela 11,6 | 0 | 29 | 9,8 | 0 | 0 |
| Produženje oplata t. od pal.kočarenja do donje pal.kaštela | 12 | 29 | 9,8 | 343,2 | 117 |
| Oplata trupa od donje p. k. 10.725 do gornje p.kaš. 13.125 | 0 | 39 | 11,9 | 0 | 0 |
| Produženje oplata trupa od donje p. kaštela do gornje p. k. | 3,1 | 31 | 12,4 | 95,5 | 38,4 |
| Oplata kobilice | 8 | 24 | 0 | 193,1 | 0 |
| Poprečne grede | 2 | -2 | 7 | -4,4 | 14 |
| Ljuljna kobilica | 9,1 | 12 | 0,8 | 105,1 | 6,8 |
| Tank goriva 1 | 43 | 3,5 | 2 | 150,5 | 86 |
| Tank goriva 2 | 34,4 | 28,9 | 2 | 994,2 | 68,8 |
| Tank goriva 3 | 51,6 | 31,9 | 2 | 1646 | 103,2 |
| Tank goriva 4 | 51,6 | 44,9 | 2 | 2317 | 103,2 |
| Tank goriva 5 | 17,2 | 51,8 | 2 | 891 | 34,4 |
| Tank goriva 6 | 4,3 | 59,1 | 2 | 254,1 | 8,6 |
| Tank goriva 7 | 4,3 | 3,5 | 2 | 15,05 | 8,6 |
| Tank goriva 8 | 34,4 | 28,9 | 2 | 994,2 | 68,8 |
| Tank goriva 9 | 51,6 | 31,9 | 2 | 1646 | 103,2 |
| Tank goriva 10 | 51,6 | 44,9 | 2 | 2317 | 103,2 |
| Tank goriva 11 | 17,2 | 51,8 | 2 | 891 | 34,4 |
| Tank goriva 12 | 4,3 | 59,1 | 2 | 254,1 | 8,6 |
| Tank goriva 13 | 25,8 | 28,9 | 2 | 745,6 | 51,6 |
| Tank svježe vode 1 | 20 | 18,5 | 2 | 370 | 40 |
| Tank svježe vode 2 | 20 | 18,5 | 2 | 370 | 40 |
| Balastni pramčani tank | 3,675 | 61,5 | 2 | 226 | 7,35 |
| Pogonski stroj | 40 | 16,25 | 4 | 650 | 160 |
| Bubanj za namatanje mreže | 3 | 31,92 | 9 | 95,76 | 27 |
| Vitlo za mrežu 1 | 2 | 24 | 9 | 48 | 18 |
| Vitlo za mrežu 2 | 2 | 24 | 9 | 48 | 18 |
| Brodski trup s opremom | 687,675 | 28,61 | 1,50 | 19675 | 1409,03 |

Centracija se proračunava sa zahtjevanom visinom težišta sistema te se dobiva da potrebna količina krutog balasta iznosi 122,8 t prikazano *Tablicom 3*. Problem je što je ovu zahtjevanu količinu balasta fizički nemoguće smjestiti u prostore dvodna jer se u prostoru dvodna nalaze tankovi goriva ,maziva, svježe vode te jedan tank balasta što prikazuje *Slika 3*. Autonomija plovidbe broda u pogledu goriva iznosi 40 dana, sa 500 m³ tankova goriva i 40 m³ tankova svježe vode kojima nije dopušteno smanjenje volumena. Kao rješenje je predviđena kutijasta kobilica kvadratnog presjeka visine 500 mm, širine 640 mm koja se proteže duž broda na duljini od 50,3 m.^[4]



Slika 3. Balastna kobilica

Unutar balastne kobilice postaviti će se poprečni okviri čime će se formirati posebni prostori za kruti balast. Duljina jednog prostora je jednaka dvostrukoj duljini razmaka rebara 110 mm.

Posljedica ovog rješenja je veći hidrodinamički otpor broda jer je kobilica izvedena kao privjesak na trupu. Veći otpor znači veću potrebnu snagu pogonskog stroja ili manju brzinu plovidbe pošto snaga ovisi o brzini i otporu.



Slika 4. Raspored tankova u dvodnu

Kobilica je izgrađena od čelika čiju masu također treba uzeti u obzir. S obzirom da su poznate dimenzije balastne kobilice može se izračunati masa čelika kobilice koja iznosi 18.8 t. Stoga masa balasta koju je potrebno ugraditi prema centraciji iznosi 104 t. Koji od tih prostora će biti ispunjeni balastom određuje centracija i tehnološki razlozi. Kao kruti balast se koristi olovo. Olovo ima najveću specifičnu težinu za razliku od ostalih materijala i koristiti će se u obliku cigli, blokova i sačme. Gustoća olova iznosi $11,34 \text{ t/m}^3$ dok gustoća sačme iznosi nešto manje i u pravilu ovisi o granulaciji same sačme.

4. MOGUĆA RJEŠENJA UGRADNJE KRUTOG BALASTA

Postoji više načina ugradnje krutog balasta. Svaki od tih načina ima svoje, tehnološki gledano, prednosti i nedostatke. Način ugradnje olova ovisiti će o obliku u kojem je olovo moguće naručiti od dobavljača. U cijelom postuku teži se tome da postupak ugradnje bude što brži, jednostavniji i da se određeni prostori maksimalno upotpune olovom. U neke prostore se neće moći ugraditi balast iz tehnoloških razloga kao što su mjesta spajanja sekcija.

Prvi način je da se olovo ugrađuje u kobilicu u Predmontaži u toku izrade sekcije u prostore poprečnih pregrada unutar kobilice. Ovdje postoje tri mogućnosti ugrađivanja olova:

- u prostore kobilice se ulijeva rastaljeno olovo. Rastaljeno olovo će potpuno upotpuniti prazne prostore kobilice što je prednost, međutim, rastaljeno olovo sadrži otrovne pare te i ako se olovo mora taliti, teži se što manjim količinama.

- u kobilicu se postavljaju olovne cigle određenih dimenzija te se nakon svakog pojedinog reda cigli prazan prostor tj. zračnost između cigli popunjava olovnom sačmom koja se prethodno rastali plamenikom. Ovaj postupak je brži od prethodnog i manja je količina rastaljenog olova što znači i manja količina otrovnih plinova. Nadostatak je što postoji mogućnost da rastaljena sačma neće upotpuniti sve praznine i zračnosti.

- popunjavanje prostora kobilice olovnim blokom. Od dobavljača olova moguće je naručiti izliveno blokove olova nestandardnih dimenzija. Prednost je što je ovaj postupak brži ali radi jednostavnijeg spuštanja bloka u kobilicu mora postojati zračnost između sklopa kobilice i bloka. Ta zračnost se popunjava rastaljenom sačmom.

Drugi način je ugradnja olova na navozu, gdje postoje dvije mogućnosti.

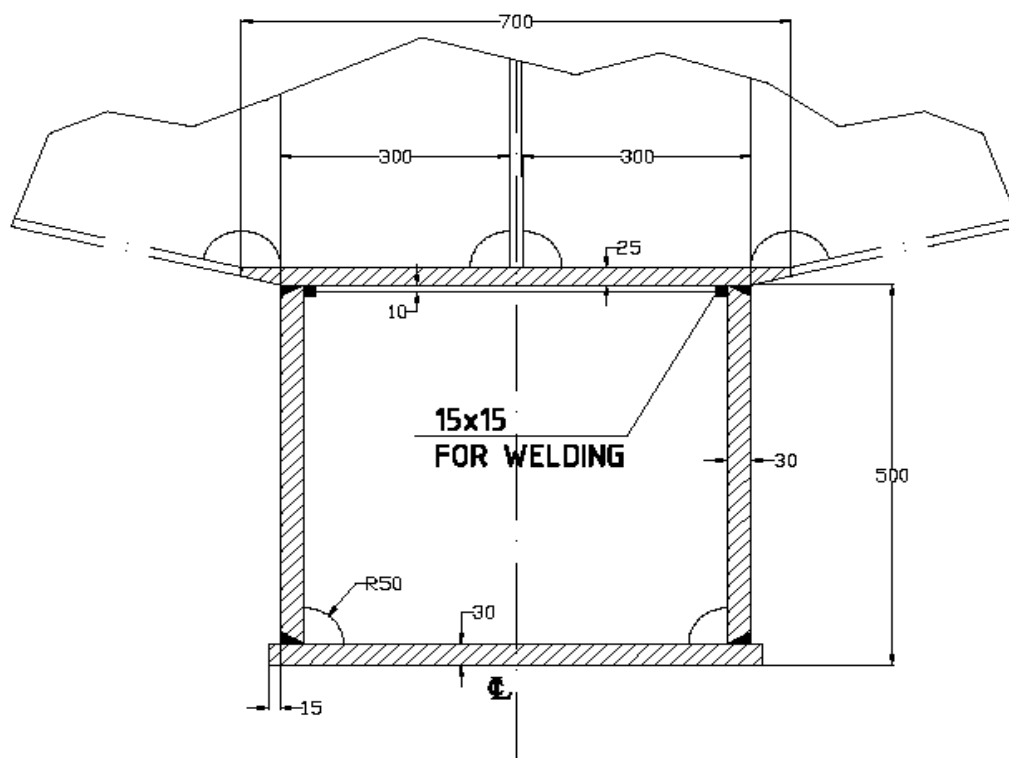
-jedna bočna strana kobilice se ne zavari, te se postavljaju cigle olova unutar prostora kobilice nakon čega se ta bočna strana zavari. Nakon ovakvog postupka postoji zračnost između blokova cigli i pregrada kobilice.

-postoji mogućnost da se iz teretnog prostora izrezuje lim dvodna kako bi se došlo do prostora kobilice te se ulijeva rastaljeno olovo. Ova mogućnost je najgora opcija zbog postupka lijevanja olova u zatvorenom prostoru. Prednost je što bi rastaljeno olovo potpuno upotpunilo prostore kobilice.

S obzirom na sve mogućnosti ugradnje olova u kobilicu najpovoljniji postupak je postupak popunjavanja kobilice olovnim ciglama i popunjavanje kobilice olovnim blokom. Ova dva postupka imaju prednost jer se izvode u Predmontaži što znači da je cijeli proces gradnje brži. Što se tiče otrovnih para u ovim postupcima oni su minimalni jer se radi s minimalnom količinom rastaljenog olova.

4. TEHNOLOGIJA MONTAŽE KRUTOG BALASTA

U prostor kutijaste kobilice potrebno je ugraditi kruti balast. Zbog zahtjevane mase kobilice od 122,8 t prema centraciji u kobilicu se ugrađuje olovo, minimalne specifične gustoće 11 t/m^3 . Potrebna masa olova koju je potrebno ugraditi u kobilicu iznosi maksimalno 104 t.

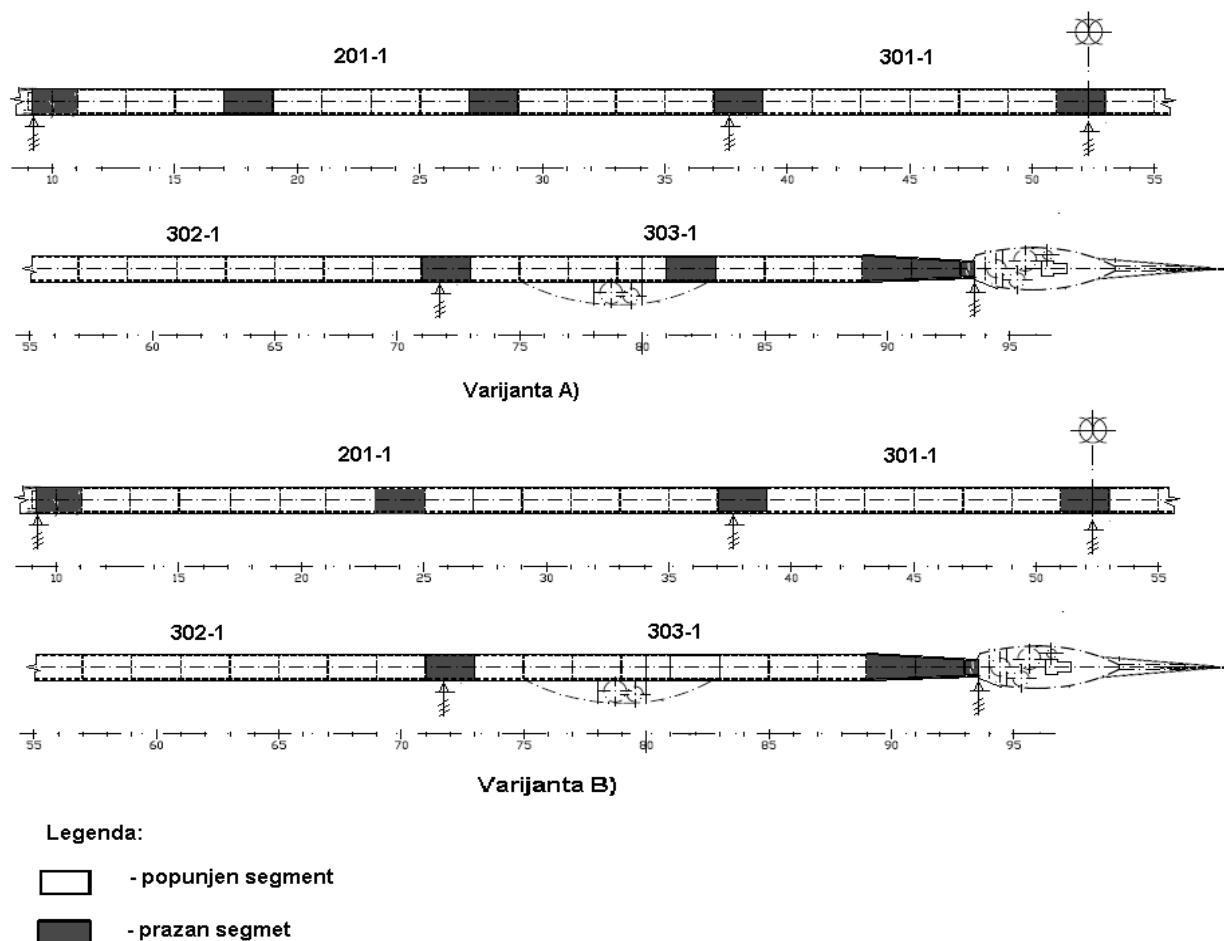


Slika 5. Poprečni presjek balastne kobilice

Duljina kutijaste kobilice proteže se duž cijelog broda. Širina kobilice iznosi 640 mm, a visina 500 mm. Sastoji se od ukupno 42 prazna prostora predviđena za ugradnju krutog balasta. Postoje dvije varijante punjenja olovom prikazane *Slikom 6.*:

Varijanta A-ugrađuju se cigle olova te se praznine upotpunjuju rastaljenom sačmom

Varijanta B-ugrađuju se naručeni gotovi olovni blokovi te se praznine upotpunjuju rastaljenom sačmom.



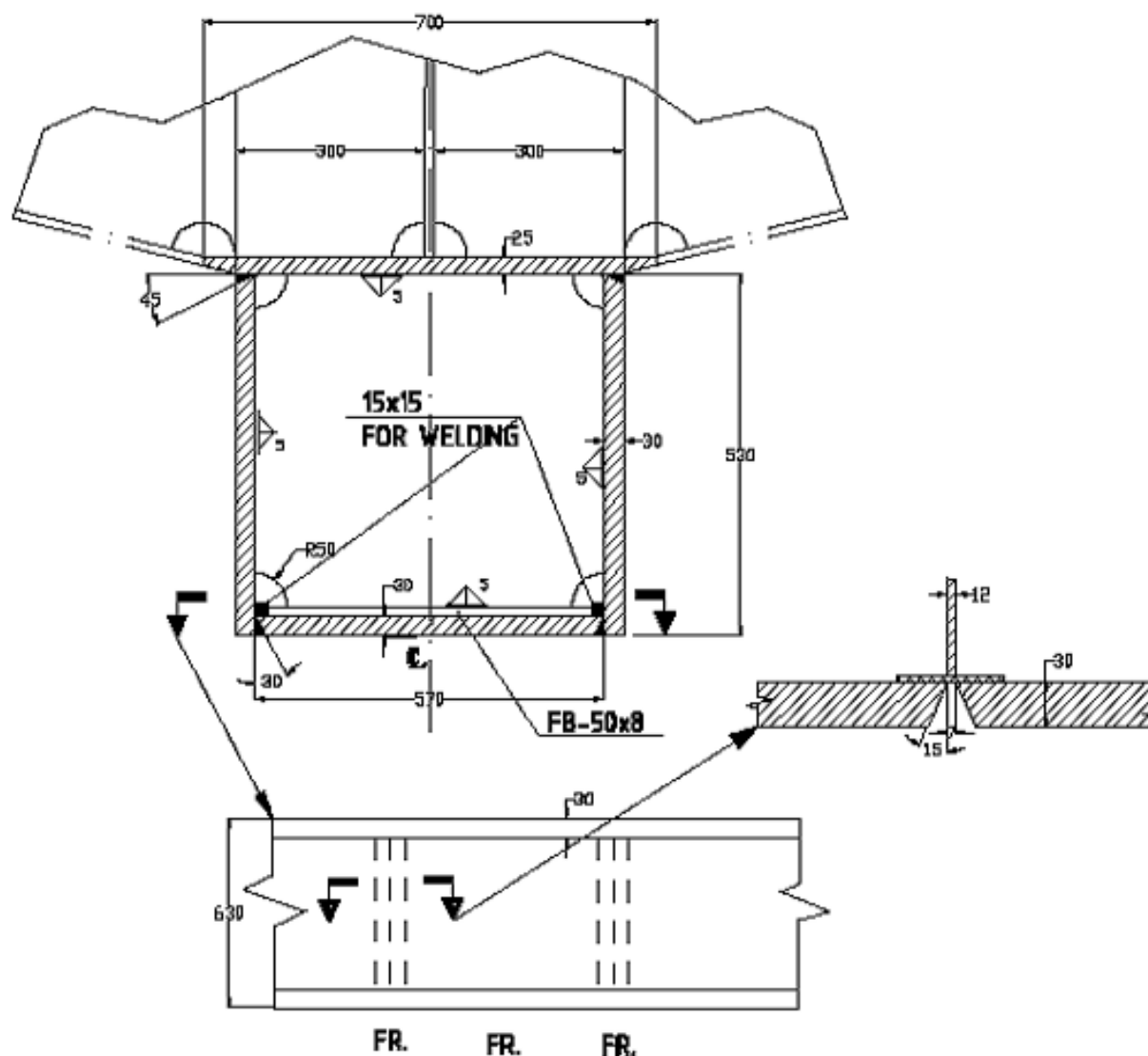
Slika 6. Prikaz ispunjenih i praznih prostora u kobilici

Kod obje varijante olovo se neće ugrađivati u prostore na sekcijskim spojevima i u prva dva pramčana prostora. Na sekcijskim spojevima se ne ugrađuje zbog toga što bi tada bilo nemoguće potpuno zavariti sekcije, a u pramcu se ne ugrađuje zbog trima broda. Na pramcu je ugrađen balastni tekući tank kojim će se regulirati trim broda. U ostale prostore se prema centraciji, raspoređuje i ugrađuje 104 t krutog balasta. Kada bi se popunili svi ostali prostori, masa balasta bi bila veća od 104 t, stoga će neki prostori, ovisno o varijanti, ostati prazni. Tako će kod varijante A) u sekciji 201-1 ostati prazna dva prostora, a u sekciji 303-1 dva prostora. Kod varijante B) će u sekciji 201-1 ostati prazan jedan prostor, a u sekciji 301-1 dva prostora što prikazuje *Slika 6*.

Ukoliko će biti potrebno, korekcije količine olova te korekcije trima broda će se obavljati naknadno, dodavanjem balasta u neispunjene prostore unutar kobilice nakon porinuća broda. U neispunjene prostore lijevat će se olovo ili beton te će u tu svrhu biti potrebno otvoriti privremene otvore na ravnom limu kobilice dna kako bi se balast mogao ugraditi u kobilicu. Nakon balastiranja privremene otvore će biti potrebno adekvatno zatvoriti.

Tokom izrade zadatka bilo je nekoliko varijanti izgleda balastne kutije. Prvi je prikazan *Slikom 5*. Na vanjsku oplatu dna broda zavaruju se uzdužne pregrade duljine 8,4 m na obje strane. Duljina sekcije 201-1 iznosi 15,8 m te će na toj sekciji kobilica biti sastavljena od 2 uzdužno spojena lima duljina 8,4 m i 7,4 m. Na sekciji 301-1 biti će zavaren samo jedan uzdužni lim duljine 8,4 m na obje strane. Sekcija 302-1 je duljine 10,8 m te će i ovdje uzdužne pregrade biti izvedene sa dva uzdužno spojena lima duljina 8,4 m i 2,4 m sa obje strane. Uzdužne pregrade na sekciji 303-1 su izrađene od limova duljina 8,4 m i 3,9 m. Nakon postavljanja uzdužnih pregrada ugrađuju se poprečne pregrade na kojima su predmontirane trake za zavarivanje TR 15x15. Poklopac se postavlja na uzdužne i poprečne pregrade nakon ugradnje olova te se zavaruje ručnim postupkom zavarivanja za uzdužne pregrade.

Ovakvom rješenju kobilice zamjerke su dali Registar i Brodovlasnik. Registar je tražio da se poprečni okviri zavare za oplatu broda zbog pitanja čvrstoće konstrukcije, a Brodovlasnik je tražio drugačiji izgled balastne kutije. Na *Slici 7*. prikazan je izmjenjena izvedba kutijaste kobilice prema zahtjevu Registra i Brodovlasnika.



Slika 7. Poprečni presjek izmjenjene izvedbe balastne kobilice

Na lim ravne kobilice zavaruju se uzdužne stijene dimenzija 8400x500x30 mm na koje su već predmontirane podložne trake za zavarivanje TR 15x15. Poprečne pregrade su dimenzija 540x462x12 mm te na svojim kutovima imaju izreze za izbjegavanje križanja zava. Na poprečnim pregradama su također predmontirane trake TR 50x80 za zavarivanje dna kobilice za poprečne pregrade u kobilici. Dno se zavaruje čepnim zavarivanjem nakon ugradnje olova. Sva zavarivanja vrše se REL ili MAG zavarivanjem. Pošto je provarivanje bolje ručnim postupkom, primjenjuje se REL zavarivanje sa bazičnim elektrodama.

Balastna kobilica se dijeli na kobilicu dvodna strojarnice i dvodna teretnog prostora. Način izrade kutijaste kobilice isti je i za dvodno strojarnice i za dvodno teretnog prostora, ali se razlikuju po samoj fazi izrade.

Kobilica **sekcija dvodna teretnog prostora** izrađuje se u fazi izrade sekcija, dok se sekcija nalazi u položaju predmontaže, oslonjena na krov dvodna. Ugradnja olova se obavlja nakon što su pojedinačnom montažom na oplatu dna montirane i u potpunosti zavarene stijene kobilice i poprečne pregrade unutar kobilice. Nakon ispunjavanja prostora olovom, kao zadnji se montira lim kobilice dna.

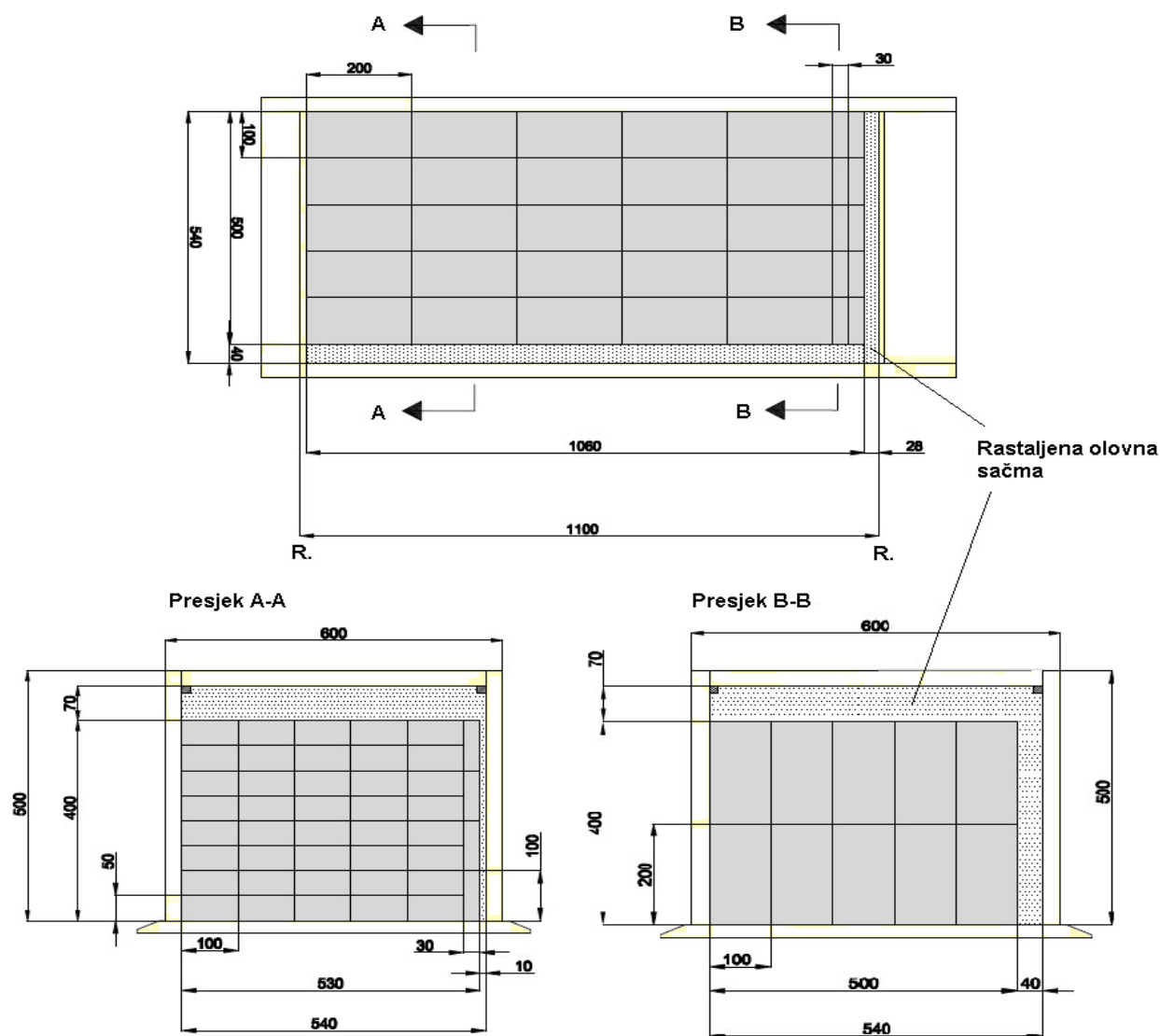
U sekciji **dvodna strojarnice** kobilica se izrađuje kao zaseban sklop, sa limom ravne kobilice dna kao bazom. Nakon ugradnje olova i zavarivanja poklopca kobilice, predmontirani sklop kobilice napunjen olovom, okreće se za 180° u položaj montaže i pozicionira na poprečne dime na kojima se nastavlja izrada sekcije.

U ovom poglavlju spomenute su dvije varijante ugradnje olova:

A) Popunjavanje kobilice olovnim ciglama

U prostor unutar kobilice slažu se olovne cigle standardnih dimenzija. Način slaganja cigli u jedan segment prikazan je na *Slici 8*. U kobilicu se slažu olovne cigle dimenzija 200x100x50 mm i 200x100x30 mm. Nakon slaganja svakog pojedinog reda cigli, prostor između cigli i limova kobilice, te eventualnu zračnost između cigli se popunjava olovnom sačmom. Olovnu sačmu je potrebno rastaliti plamenikom kako bi se u potpunosti popunile zračnosti i osiguralo međusobno prijanjanje pojedinih segmenata olova te potpuno ispunjavanje prostora unutar kobilice. Nakon rastaljivanja sačme u prvom redu cigli, nastavlja se slaganje cigli red po red te popunjava zračnost u svakom redu olovnih cigli. Nakon postavljanja zadnjeg reda cigli, prostor do dna kobilice se ispunjava sačmom. Sačmu je potrebno nanositi sloj po sloj te postepeno taliti plamenikom kako bi se u potpunosti ispunio cijeli prostor unutar kobilice. Količina cigli potrebna za

popunjavanje jednog segmenta kobilice dana je u *Tablici 4*. Potpuno prazni ostavljaju se prostori na krajevima kobilice tj. prostori na sekcijskim spojevima. Također se praznima ostavljaju još 4 prostora između poprečnih pregrada, po duljini broda, i to: na grupi 201 od R.10-11, R.17-19 i R.27-29; na grupi 303 između R.81-83. Prikaz ispunjenih i praznih prostora unutar kobilice prikazan je *Slikom 6*.



Slika 8. Raspored slaganja cigli unutar jednog segmenta kobilice

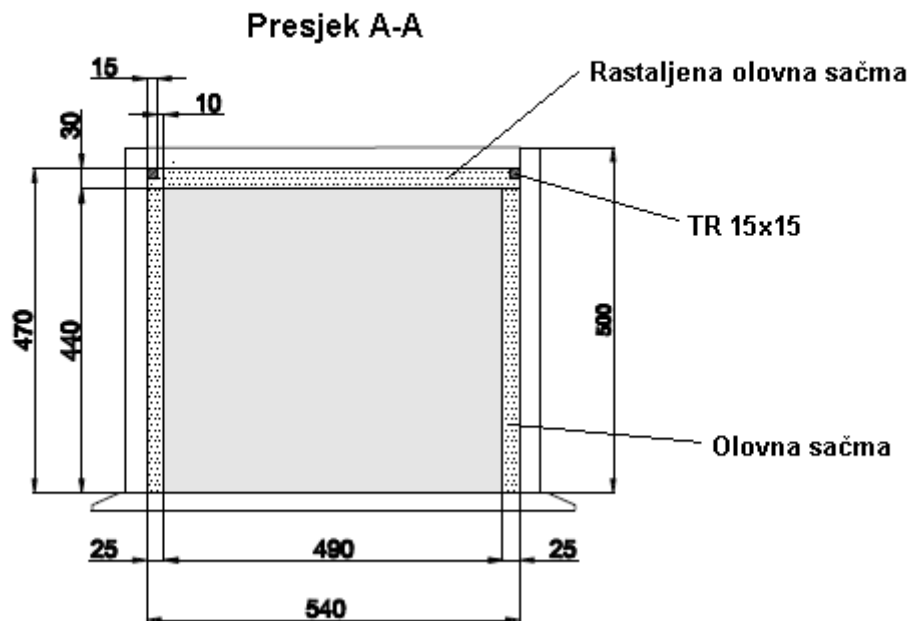
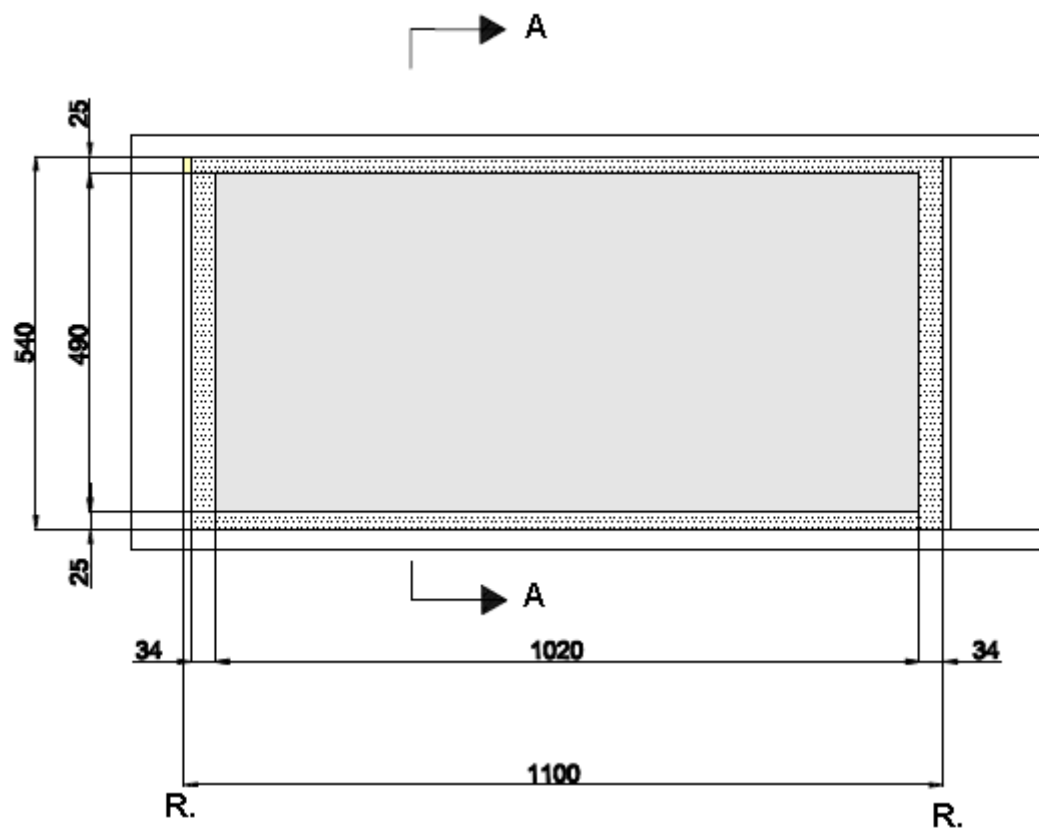
Tablica 4. Količine olova u kobilici varijante A

| | Dimenzije (mm) | | | Masa (kg) | Komada | Masa olova (t) |
|-----------------------|--------------------|--------|--------|---------------------|--------|----------------|
| | Duljina | Širina | Visina | | | |
| Olovne cigle | 200 | 100 | 50 | 11,3 | 200 | 2,26 |
| | 200 | 100 | 30 | 6,78 | 40 | 0,272 |
| Olovna sačma | Promjer sačme (mm) | | | V (m ³) | | |
| | 2 | | | 0,0519 | | 0,586 |
| Ukupna masa olova (t) | 1 Segment | | | | | 3,118 |
| Ukupna masa olova (t) | 33 Segmenta | | | | | 102,883 |

B) Popunjavanje kobilice olovnim blokom

Od dobavljača olova moguće je naručiti izliveno blokove nestandardnih dimenzija. Kako bi se jednostavno spustio u sklop kobilice, potrebno je ostaviti zračnost između bloka olova i limova kobilice te je adekvatan blok olova dimenzija: 490x440x1020 mm. Masa jednog takvog bloka iznosi 2,485 t.

U svaki blok potrebno je ugraditi ušku za spuštanje bloka koja se odstranjuje prije montaže lima dna kobilice. Vertikalni prostor između bloka olova i stijena kobilice popunjava se olovnom sačmom promjera 2 mm, do razine bloka olova. Prostor od bloka olova do dna kobilice također se popunjava sačmom koju je potrebno postepeno, sloj po sloj, taliti ručnim plamenikom, kako bi se pripojila za olovni blok i u potpunosti ispunila prostor između bloka i dna kobilice oko podložne trake za zavarivanje, tj. cijeli prostor unutar jednog segmenta kobilice. Količina olovnih blokova i sačme potrebne za popunjavanje kobilice dana je *Tablicom 5*. Potpuno prazni prostori ostavljaju se na krajevima kobilice, tj. prostori na sekcijskim spojevima. Također se praznim ostavlja i još jedan prostor između poprečnih pregrada na grupi 201 od R.23-25. Prikaz ispunjenih i praznih prostora unutar kobilice prikazan je *Slikom 6*.^[5]



Slika 9. Ugradnja bloka olova u jedan segment kobilice

Tablica 5. Količine olova u kobilici varijante B

| | Dimenzije (mm) | | | V (m ³) | Masa olova (t) |
|------------------------------------|----------------|--------|--------|---------------------|----------------|
| | Duljina | Širina | Visina | | |
| Olovni blok | 1020 | 490 | 440 | 0,22 | 2,485 |
| Prostor ispunjen olovnom sačmom | | | | 0,04 | 0,297 |
| Prostor ispunjen rastaljenom sačom | | | | 0,016 | 0,181 |
| Ukupna masa olova (t) | 1 Segment | | | | 2,963 |
| Ukupna masa olova (t) | 33 Segmenta | | | | 103,701 |

Od ukupno 42 prazna segmenta olovom će se popuniti 33 segmenta. Ukupna masa olova varijante sa ugradnjom cigli olova iznosi 102,8 t dok je ukupna masa olova varijante sa ugradnjom olovnog bloka 103,7 t. Pošto potrebna masa olova prema centraciji iznosi 104 t, varijanta sa olovnim blokovima se uzima kao konačna. Osim što po masi više odgovara proračunu centraciji ima i ostale prednosti s obzirom na ugradnju olovnih cigli. Cijeli postupak ugradnje je brži, jednostavniji te se postupa sa manjom količinom otrovnih para olova.

6. ZAKLJUČAK

Prema zahtjevu Brodovlasnika potrebno je bilo smanjiti visinu težišta sistema broda. Nakon provedenog proračuna centracije dobiveni su rezultati koji pokazuju koliko i gdje treba ugraditi krutog balasta da bi se visina težišta sistema smanjila na 1,5 m. Na temelju potrebne mase balasta konstruirala se kutijasta balastna kobilica. Kod manjih brodova se obično kruti balast ugrađuje u dvodno, no kako u ovome slučaju to nije bilo izvedivo zbog manjka prostora u dvodnu posegnulo se izvedbi balastne kobilice kao privjesak trupu što za rezultat ima povećanje hidrodinamičkog otpora. Balastna kobilica se sastoji od uzdužnih i poprečnih stijena koje zajedno čine prostore koje je potrebno popuniti balastom. Konstrukcija kobilice se mijenjala zbog različitih zahtjeva Registra i Brodovlasnika. Nakon usvajanja konstrukcije kobilice bilo je potrebno razmotriti mogućnosti ugradnje krutog balasta u kutijaste prostore kobilice. Kao kruti balast se koristi olovo zbog velike specifične težine. S obzirom na brzinu, jednostavnost ugradnje i manji udio otrovnih para olova odabrane su dvije mogućnosti ugradnje. Kod prve mogućnosti ugradnje koriste se olovne cigle, a kod druge naručeni gotovi olovni blokovi. Kod obje mogućnosti praznine i zračnosti se popunjavaju rastaljenom sačmom. Kao konačni način odabrala se ugradnja olovnih blokova jer je ukupna masa blokova bliža potrebnoj masi balasta prema računu centracije te je cjeli proces jednostavniji i brži.

8. LITERATURA

- [1.] Internet stranica: Wikipedia; http://hr.wikipedia.org/wiki/Stabilitet_broda
- [2.] Uršić J. : Plovnost broda, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1991.
- [3.] Uršić J.: Stabilitet broda 1.dio, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [4.] Dokumentacija projekta ribarskog broda, str 4/43.
- [5.] Tehnološka uputa za ugradnju krutog balasta u kobilicu